

*В. С. Ветров, к.х.н., А. Н. Измер
РУП «Институт мясо-молочной промышленности»*

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ТОНКОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МЯСНОГО СЫРЬЯ В АППАРАТАХ РОТОРНОГО ТИПА

Обоснованы технологические и экономические параметры модернизации оборудования тонкого измельчения, основанные на следующих этапах проведения аналитико-практических изысканий: постановка цели исследования, выбор базовой технологической и экономической основы; идейное определение методологии совершенствования конструктивного исполнения объекта; проведение эмпирического исследования для доказательства адекватности в выборе идейного направления; представление окончательного результата синтетического (обобщенного) исследования. Научно обоснованный подход в модернизации оборудования тонкого измельчения позволил увязать аналитико-практические изыскания в положениях, оказывающие существенное влияние на технологический процесс, гарантируя высокое качество выпускаемого пищевого продукта.

При решении проблемы, связанной с рациональной переработкой мяса и мясных продуктов, важное значение приобретает технологическая эффективность процессов измельчения, которая, исходя из экономической обоснованности разработки, определяется качеством исходного сырья, совершенством конструкций измельчающих машин, техническим состоянием и уровнем их исполнения [1–3]. Научно обоснованный подход в создании и модернизации машин и оборудования исследуемого направления – это выполнение следующих этапов: «деталь – узел – сборочная единица – машина».

Целью работы является обоснование параметров отдельного элемента базовой конструкции, позволившее повысить эффективность производства и улучшить качество продукции на основе всесторонней интенсификации технологического процесса.

Базовой основой выбрано новаторское решение во взаимоувязке геометрических размеров целостной системы «неподвижные ножи – вращающиеся ножи» с научно обоснованным свойством «золотой пропорции», что позволило усовершенствовать конструкцию режущего механизма объекта исследований [4, 5]. Базовым элементом выбран первый вращающийся нож (по ходу продвижения продукта), который в сочетании с первым неподвижным ножом составляет системообразующий элемент. В процессе научно-аналитического изыскания методов и направлений модернизации элементного узла технологического оборудования получены следующие зависимости:

$$\hat{O} = \sum_{i=1}^6 \frac{d_{\hat{n}oi}}{d_{\delta i}}; \quad (1)$$

$$\hat{O} = \sum_{i=1}^5 \frac{h_i}{h_{i+1}}. \quad (2)$$

где Φ – число Фибоначчи (имеет различные производные ступени) равное 1,272); d – диаметр элемента ножевой системы объекта исследования; h – высота элемента ножевой системы объекта исследования.

Эмпирические изыскания, проведенные на следующем этапе, должны доказать обоснованность выбранного идейного направления. Как и любое экспериментальное исследование, измерение применительно к тематике настоящего исследования включает следующие стадии.

1. Формулировка цели экспериментального исследования. Целью экспериментального исследования по выбранной автором научной проблеме является получение эмпирических данных, представляющих собой фактическое отражение обоснованности технологических параметров модернизации оборудования тонкого измельчения.

2. Выбор объекта исследования. Объектом исследования является опытный образец машины непрерывного действия.

3. Составление программы эксперимента, методическая и материальная подготовка эксперимента.

4. Получение фактических данных путем осуществления запланированного исследования.

5. Обработка данных и обработка первичных данных в реальном масштабе времени.

6. Обработка данных и оценка погрешностей измерений.

7. Анализ полученных данных, формулировка результата исследования и оценка исследования.

Задачами измерения физических величин в рамках данного исследования являются следующие: оценка значений полученных скалярных величин (геометрические размеры и масса), оценка значений векторных величин (угловая и линейная скорость, вязкость), воспроизведение реализации процесса в координатах «физическая величина — время», а также воспроизведение характеристик процесса и объекта в соответствующих координатах [6].

Немаловажным акцентом экспериментальных исследований является решение ряда вопросов, среди которых особое внимание уделено доминирующим факторам: априорность информации об объекте исследования и измеряемых величинах (функциональные связи между измеряемыми величинами, результатами предварительных измерений, предполагаемые диапазоны и др.); адекватность определяемых физических величин измеряемым; допустимые погрешности измерений (при использовании косвенных измерений существует необходимость в определении допустимой погрешности измерения каждой из непосредственно измеряемых величин); необходимость в алгоритмах и средствах обработки экспериментальных данных, а также оценки погрешностей измерений и их достоверности.

В процессе исследования выбрано два генеральных направления: анализ производительности объекта и степени измельчения сырья (ха-

рактельные зависимости представлены на рисунках 1 и 2). Исследование производительности опытного образца машины заключается в анализе влияния зазора между последней парой вращающихся и неподвижных зубчатых ножей, оценке структуры измельчаемого продукта, а также эффективности влияния частоты вращения приводного ротора и качественных параметров процесса. В результате определяется эффективность базового и усовершенствованного образцов режущего механизма посредством построения эмпирических фактических зависимостей по предметному изысканию. Исследование степени измельчения мясного сырья заключается в получении эмпирических зависимостей не только технологических параметров процесса (производительность), но и качественных показателей сырья (конечная температура, предельное напряжение сдвига, вязкость).

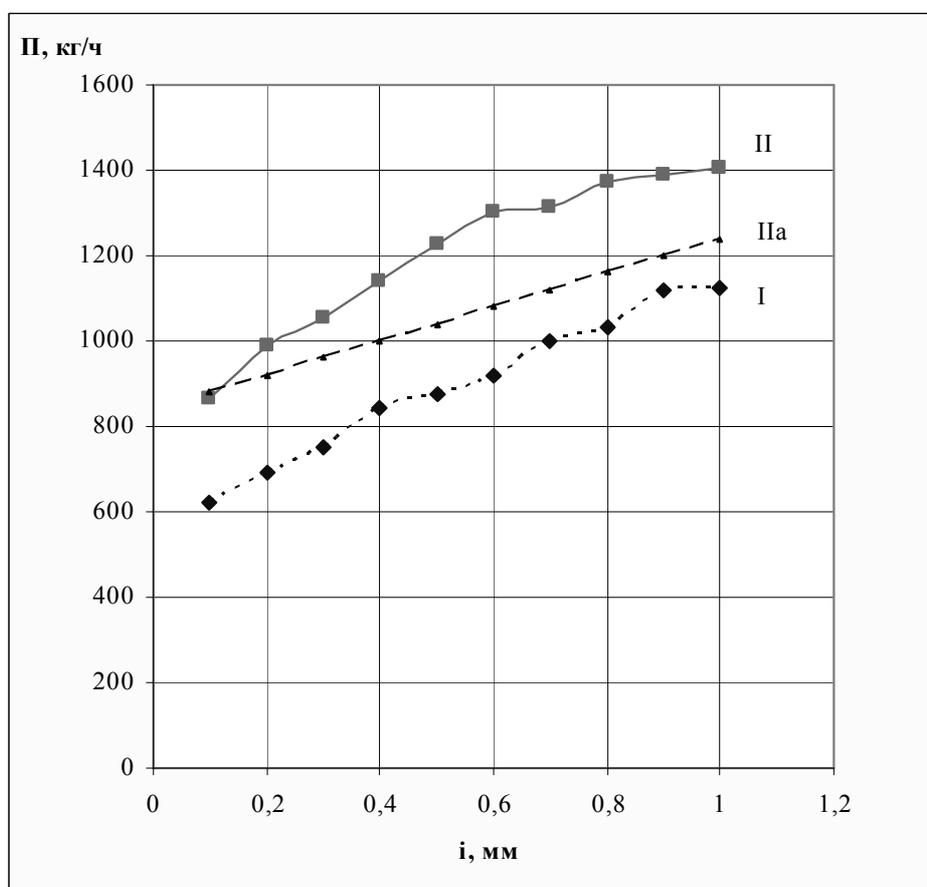


Рисунок 1 - Зависимость производительности от степени измельчения:

I – базового, II – усовершенствованного, IIa – расчетного

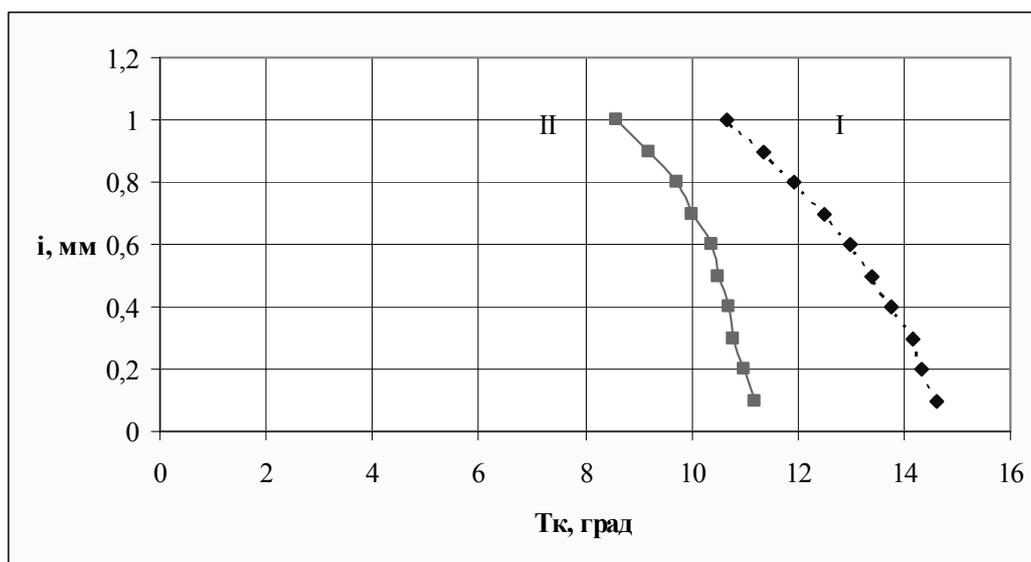


Рисунок 2 - Зависимость степени измельчения от конечной температуры сыря:

I – базового, II – усовершенствованного

На рисунке 1 представлен эффект усовершенствованного эмпирического (II) и усовершенствованного расчетного (IIa) образцов ножевого исполнения по сравнению с базовым (I). Анализ эмпирических графических данных позволяет получить трендовые уравнения для модернизированного варианта в интервале производительности 700÷1400 кг/ч.

На рисунке 2 показано существенное увеличение качественных показателей получаемого сыря (температура конечного мясного сыря должна варьировать в пределах 8÷16 °С) за счет применения геометрически и конструктивно усовершенствованной схемы.

Итогом экспериментальных и аналитических изысканий явился факт создания новой теоретической основы в теории тонкого измельчения. Полученные характеристические уравнения позволяют интегрировать обобщенные данные, получив следующие уравнения зависимости для производительности оборудования и степени измельчения сыря тонкого измельчения. Таким образом, критериальные уравнения прошли трансформацию и в соответствии с научно обоснованным подходом приняли следующий экспоненциальный вид:

$$P=(895e^{0.52i}; 755e^{0.0001n}; 627e^{0.006\theta}; 840e^{0.0108\eta_{эф}}; 764e^{0.011\gamma}; 1260e^{-0.2245V_{\gamma}}) \quad (3)$$

$$i = (0,0042e^{0,0039 P}; 1044e^{-0,758 T_k}; 0,082e^{0,0032 \theta}; 0,1457 e^{0,0581 \eta_{эф}}) \quad (4)$$

где P – производительность объекта, кг/ч; i – степень измельчения, мм; n – частота вращения приводного вала, об/мин; θ – предельное напряжение сдвига, Па; $\eta_{эф}$ – эффективная (квазиньютоновская) вязкость, Па·с; γ – скорость сдвига, с⁻¹; V_{γ} – удельный объем жидкости, $\cdot 10^{-5}$ м³/кг; T_k – конечная температура измельченного сырья, °С.

Обоснование экономических параметров. Немаловажным параметром усовершенствованной конструкции является обоснование экономической эффективности. Методика экономического обоснования целесообразности совершенствования (модернизации) машины непрерывного действия для тонкого измельчения мяса включает следующий ряд элементов:

$$Z = M + O_{np} + C_n + O_p, \quad (5)$$

где Z – затраты на изготовление (модернизацию) оборудования, тыс. руб.; M – стоимость материала, тыс. руб.; O_{np} – расходы на оплату труда, тыс. руб.; C_n – отчисления на социальные нужды, тыс. руб.; O_p – общепроизводственные расходы, тыс. руб.

Для анализа технико-экономической эффективности модернизации оборудования применяются такие экономические показатели, как годовая экономия эксплуатационных затрат (\mathcal{E}_2), годовой доход (D_2), чистый дисконтированный доход ($ЧДД$) и срок окупаемости ($T_{ок}$) [7]. Результаты расчетов приведены в таблице.

Таблица 1 - Технико-экономические показатели эффективности изготовления (модернизации) машины непрерывного действия для тонкого измельчения мяса

Наименование	Вариант МТИ		Отклонение
	Базовый	Усовершенствованный	
Балансовая стоимость оборудования, тыс. руб.	19350	19350	0
Затраты на изготовление (модернизацию) оборудования, тыс. руб.	271,6	197,3	74,3
Производительность оборудования, кг/ч	1000	1000	0

Наименование	Вариант МТИ		Отклонение
	Базовый	Усовершенствованный	
Количество обслуживающего персонала, чел.	2	2	0
Эксплуатационные издержки, тыс. руб.	7311,2	6730,7	+580,5
Годовая экономия издержек, тыс. руб.	580,5		
Годовой доход от капитальных вложений, тыс. руб.	580,5		
Чистый дисконтированный доход, тыс. руб.	1358		
Срок окупаемости капитала, лет	0,76		

Важнейшее направление дальнейших исследований для решения проблемы интенсификации процессов, связанных с применением высокоэффективного оборудования для измельчения мяса прежде всего необходимо связать с установлением обоснованного времени широкого распространения тех или иных нововведений. Очевиден факт, что все фазы жизненного цикла нововведения, кроме фазы его использования, являются убыточными (рисунок 3). Кривые эффективности нововведения как бы «вморожены» в календарное время». Если начать внедрение нововведения преждевременно или с опозданием, то эффект ΔZ не сможет достичь учредительской величины ΔZ_0 .

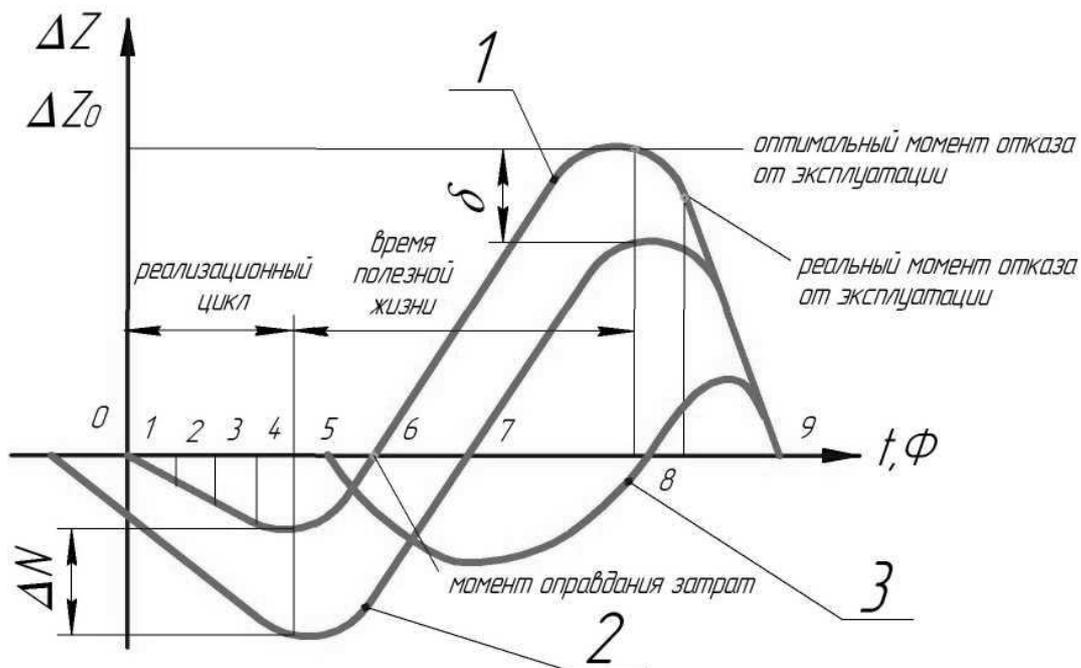


Рисунок 3 - Зависимость эффективности нововведения от фаз жизненного цикла: 1 – при своевременной разработке и внедрении; 2 – при преждевременном внедрении; 3 – при запоздалом внедрении нововведения

Как видно из рисунка, важно своевременно начать разработку и внедрение нововведения. Преждевременное внедрение нововведения приводит к повышению затрат на величину ΔN и снижению эффекта на δ . Следовательно, эффективность определяется своевременностью его широкого распространения, которое в свое время зависит от своевременности формулировки технологической задачи [8].

Упомянутые в процессе расчета экономической эффективности направления (применение нового техпроцесса изготовления продукции, новый способ организации производства, использование новых и усовершенствованных средств труда) переплетаются между собой, действуют в комплексе и позволят в дальнейшем учитывать полученные показатели в целях дальнейшего совершенствования представленного оборудования для производства новой продукции или продукции повышенного качества.

Факторы и положения теории измельчения. Для развиваемой на основе различных законов измельчения и теорий совершенствования конструктивного исполнения технологического оборудования выявлены факторы и положения, существенным образом влияющие непосредственно на процесс тонкого измельчения.

1. Влияние внешней среды на процесс измельчения весьма велико и проявляется уже при добавлении жидкости; практические изыскания показали существенное изменение процесса тонкого измельчения при добавлении $(0,3 \div 0,6) \cdot 10^{-5}$ м³ воды на килограмм перерабатываемого продукта. Данный интервал может быть в дальнейшем сужен до меньшего предела вариации, вплоть до определения конкретного и более точного значения искомой величины, что позволит существенно повысить эффективность процесса измельчения.

2. Механическое разрушение продукта происходит при создании в нем предельных упругих напряжений, которые на конечной стадии раз-

рушения неизбежно сопровождаются пластическими деформациями, на которые затрачивается значительная доля работы внешних сил. Пластическому деформированию подвергаются тонкие, непосредственно прилегающие к поверхностям истирания слои частиц. Толщина таких слоев и плотность затрат энергии на пластическое деформирование при предельном (разрушающем) напряжении определяются только природой продукта и особенностями условий разрушения, но не размерами разрушаемых фрагментов.

3. Энергия, затрачиваемая на трение и образование новой поверхности при разрушении частиц, как и энергия пластического деформирования, пропорциональна удельной поверхности. Износ мелющих тел и затрачиваемая на него энергия по мере увеличения дисперсности за редким исключением уменьшаются.

4. В теории измельчения неизбежно использование хорошо известных законов разрушения продуктов конечных размеров, разрушаемых также на фрагменты конечных размеров. Порция механической энергии, затраченной на совершившееся разрушение тела конечных размеров, также всегда конечна (не исключая усталостное разрушение, для которого удельные затраты на разрушение в среднем многократно больше затрат на обычное предельное упруго-пластичное воздействие). Это, казалось, исключает написание закономерностей измельчения в виде дифференциальных уравнений. Для привлечения аппарата математического анализа к теории измельчения мог быть использован тот факт, что в ансамбле множества частиц дисперсной системы всегда имеются такие группы, размеры которых можно полагать отличающимися от других групп частиц на бесконечно малую величину. Это означает, что распределение частиц по размерам могло быть аппроксимировано непрерывной функцией, причем безразличен вид такого распределения и величина его используемого участка. Другие предпосылки для математического ана-

лиза процесса измельчения не требовались. Отметим, что такой прием общепринят, но в теории измельчения его ранее не применяли.

5. Масштабное упрочнение частиц (как физическое явление), в силу непрерывного пополнения объема каждой из них в последовательных актах разрушения разного рода дефектами, для процесса измельчения весьма проблематично. Тем не менее учет этого эффекта по классической схеме произведен, и удалось показать, что он не приводит к заметным изменениям соотношений, полученным из более основательных предпосылок.

Научно обоснованный подход в модернизации оборудования тонкого измельчения позволяет увязать параметры и факторы, оказывающие существенное влияние на технологический процесс, гарантируя высокое качество выпускаемого пищевого продукта. Выбрано оптимальное воздействие, которое обеспечивается расчетом системы *«машина – перерабатываемый продукт»*, проведен учет связи структурно-механических свойств продукта с геометрическими и конструктивными параметрами оборудования.

Литература

3. Алексеев, Е. А. Моделирование и оптимизация технологических процессов в пищевой промышленности/ Е. Л. Алексеев, В. Ф. Пахомов; под ред. А. П. Серика.–М.: Агропромиздат, 1987.–272 с.

1. Чижикова, Т. В. Машины для измельчения мяса и мясных продуктов / Т. В. Чижикова // под ред. В. И. Баратовой.–М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1982.–302 с.

2. Измер, А. Н. Технологические аспекты современного производства мясных фаршевых продуктов/ А. Н. Измер/ «Молодежь в науке – 2007»: прил. к журн. «Весці Нац. акад. навук Беларусі»: В 4 ч.–Ч. 1. Серия аграрных наук / редкол.: В. Г. Гусаков (гл. ред.), И. М. Богдевич [и др.]–Минск: Беларус. наука, 2008.–С. 337–340.

6. Спектор, С. А. Электрические измерения физических величин: Методы измерений: учеб. пособие для вузов / С. А. Спектор; под ред. Л.М. Пархоменко–Л.: Энергоатомиздат, 1987.–320 с.

4. Груданов, В. Я. Совершенствование конструкций машин и аппаратов пищевых производств: учеб. пособие/ В. Я. Груданов.–Мн.: Высш. шк., 1996.–221 с.

5. Исторические и математические предпосылки чисел Фибоначчи // Форекс [Электронный ресурс]. – 2008. – Режим доступа: http://www.foreks.ru/Chf/index_2.htm. – Дата доступа: 11.06.2008.

7. Гусаков, Б. И. Экономическая эффективность инвестиций собственника/ Б. И. Гусаков// Финансы, учет, аудит.–1998.–С. 216.

8. Дмитриев, А.М. Интенсификация сельскохозяйственных процессов ионизирующими излучениями: дис. д-ра техн. наук: 05.20.01, 05.20.02/ А. М. Дмитриев.–Минск, 1982.–460 л.